

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-082495

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
 C23F 4/00  
 H01L 21/205  
 H01L 21/3065  
 // C23C 16/50

(21)Application number : 07-238843

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 18.09.1995

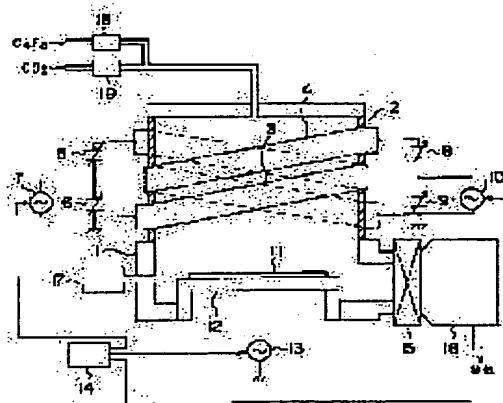
(72)Inventor : TOMIOKA KAZUHIRO  
 SEKINE MAKOTO

## (54) PLASMA PRODUCING DEVICE AND METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To establish plasma processing in good performance by giving two sorts of high frequency waves having different frequencies to a plasma source gas using the first high frequency wave supplying means and the second high frequency wave supplying means.

**SOLUTION:** The first coil 3 is connected with the first variable capacitor 5 and the second variable capacitor 6 and constitutes the first parallel resonance circuit. In the same fashion, the second coil 4 is connected with a third variable capacitor 8 and fourth variable capacitor 9 to constitute the second parallel resonance circuit. The first and the second high frequency power supply 7 and 10 are connected with the first and the second parallel resonance circuit through the respective variable capacitors. The frequency of the first high frequency power supply 7 is slightly dislocated from that of the second high frequency power supply 10, and thereby a new electric field is generated in the plasma source gas so that the optimum plasma processing for etching is established.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.06.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.01.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-82495

(43) 公開日 平成9年(1997) 3月28日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 1/46			H 0 5 H 1/46	L
C 2 3 F 4/00			C 2 3 F 4/00	A
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	
21/3065			C 2 3 C 16/50	
// C 2 3 C 16/50			H 0 1 L 21/302	B
審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 16 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-238843

(22) 出願日 平成7年(1995) 9月18日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 富岡 和広

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 関根 誠

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

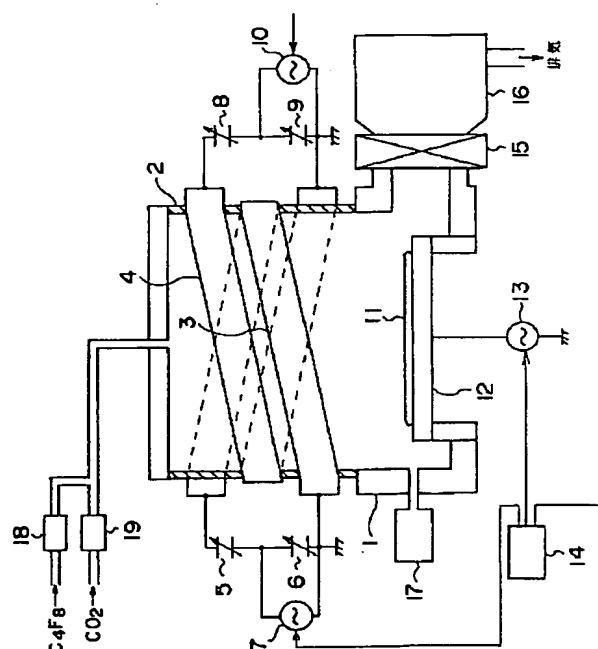
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 プラズマ生成装置およびプラズマ生成方法

(57) 【要約】

【課題】 サブハーフミクロンオーダーに微細化が進んでも有効なプラズマ処理装置を提供すること。

【解決手段】 被処理基体11をプラズマ処理するところの処理チャンバ1および石英製円筒2からなる処理容器と、この処理容器内に導入されたプラズマ源ガス第1の高周波を供給する第1のコイル3などからなる第1の高周波供給手段と、第1の高周波と異なる第2の高周波をプラズマ源ガスに供給する第2のコイル4などからなる第2の高周波供給手段とを備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】プラズマが生成される生成容器と、この生成容器の周囲または内部に設けられた 2 MHz 以上の高周波が供給される複数のコイルと、これら複数コイルの少なくとも一のコイルに他のコイルに供給する高周波とは異なる高周波を供給する高周波供給手段とを具備してなることを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項 2】前記高周波供給手段は、インダクタンス体とリアクタンス体とからなる並列共振器と、この並列共振器に接続された高周波電源とからなることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ生成装置。

【請求項 3】前記複数のコイルの少なくとも 2 以上のコイルが同軸状に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ生成装置。

【請求項 4】前記各コイルと前記被処理基体との間の距離はそれぞれ異なっていることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】前記生成容器内に磁場を形成する手段を有することを特徴する請求項 1 に記載のプラズマ生成装置。

【請求項 6】プラズマ生成容器にガスを導入する工程と、前記プラズマ生成容器の周囲に設けられた複数のコイルに 2 MHz 以上の高周波を供給し、前記複数のコイルの少なくとも一のコイルに他のコイルとは独立に制御した高周波を供給してプラズマを生成する工程とを有することを特徴とするプラズマ生成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマを生成するプラズマ生成装置およびプラズマ生成方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、コンピューターや通信機器の重要部分には、多数のトランジスタや抵抗等を電気回路を達成するようにむすびつけ、1チップ上に集積化して形成した大規模集積回路(LSI)が多用されている。このため、機器全体の性能は、LSIの性能と大きく結び付いている。そして、LSI単体の性能向上は、集積度を高めること、つまり、素子の微細化により実現できる。

【0003】素子の微細化に有効な技術の一つとして、反応性イオンエッチングやプラズマCVD (Chemical Vapor Deposition) 法等のプラズマを用いた技術があげられる。例えば、反応性イオンエッチングを用いれば、プラズマ中のイオンを被エッチング基体に垂直に照射できるので、エッチングに異方性を持たせることができ、これにより、微細パターンの形成が可能となる。

【0004】しかし、LSIの中でも今後さらに集積化が進むと予想される装置、例えば、次世代256Mbitないしは次世代1Gbit DRAM等の半導体装置に

おいては、デザインルールはクォーターミクロン(0.25 $\mu$ m)以下にもなろうとしている。このため、トランジスタを構成するゲート電極の加工、素子分離領域、記憶容量を形成するための溝(トレンチ)溝掘り等においては、微細な形状に加工したり、高いアスペクト比を実現可能なエッチングが要求される。これまでの反応性イオンエッチングでは、これらの要求を達成することは困難であると考えられる。

【0005】図15は、従来の誘導結合型プラズマエッチング装置の概略構成を示す模式図である(特開平5-206072)。図中、201は処理チャンバを示しており、この処理チャンバ201内には被処理基体206を載置するサセプタ207が設けられている。このサセプタ207は高周波バイアス電源208により高周波バイアスが印加されるようになっている。

【0006】処理チャンバ201の上方にはプラズマを生成するところである石英製円筒202が設けられている。この石英製円筒202の外周にはコイル203が巻かれている。これら処理チャンバ201、石英製円筒202は一体化されており、エッチング室を構成している。

【0007】上記コイル203は、第1の可変コンデンサ205<sub>1</sub> および第2の可変コンデンサ205<sub>2</sub> に接続され、並列共振回路を構成している。第1の可変コンデンサ205<sub>1</sub> および第2の可変コンデンサ205<sub>2</sub> のそれぞれの片端は高周波電源204に接続されている。この高周波電源204により高周波電力を上記並列共振回路に供給している。

【0008】処理チャンバ201は可変コンダクタンスバルブ211を介してターボ分子ポンプ212に接続されている。また、処理チャンバ201には圧力計209が設けられている。この圧力計209を用いて可変コンダクタンスバルブ211の開口度を調整することにより、エッチング室内の圧力を所望のレベルに設定することができる。

【0009】また、石英製円筒202の上壁にはガス導入管が設けられており、このガス導入管にはマスフローメーター210が挿設されている。このマスフローメーター210を用いることにより、エッチング室内に反応性ガスを所望の流量でもって導入することができる。

【0010】次に上記の如く構成されたプラズマエッチング装置を用いたエッチング方法について説明する。まず、マスフローメーター210を用いて、エッチング室内にフッ素系カーボン系(例えば、CF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>)を一定の流量でもって導入する。

【0011】次に圧力計209を用いて、エッチング室内を数Pa程度の一定の圧力に保持した後、高周波電源204で高周波電力をコイル203に供給することによってエッチング室内にプラズマを発生させる。

【0012】次に高周波バイアス電源209を用いて、サセプタ207に高周波電圧を印加することにより、プラズマ中のイオンを被エッチング基体206（シリコン酸化膜）の表面に垂直に入射して、被エッチング基体206を異方的にエッチングする。

【0013】しかしながら、この種の従来のプラズマエッチング装置には以下のような問題があった。例えば、シリコン酸化膜に微細なコンタクトホール（シリコン酸化膜上の配線とシリコン酸化膜下のシリコン基板とを接続する孔）を開孔する場合において、エッチング速度を速めるために、より大きい高周波電力を印加してイオン照射密度を高くしようとする、逆にエッチング速度が低下したり、シリコン酸化膜とシリコン基板とのエッチング選択比が低下する現象が発生することがある。

【0014】さらに、コンタクトホールの穴径によってエッチング速度が変化したり、サブハーフミクロンオーダーの穴径の場合にはエッチングが停止する現象が発生することがある。

【0015】これは、以下の様な機構から起こると思われる。すなわち、高周波電力の増加によって電子密度は上昇するが、電子密度の上昇によって気相中のフロロカーボンの解離が進み、低弗素価数のフロロカーボンのイオンが被処理基体206に入射し表面に付着するようになる。これにより、シリコン酸化膜のエッチング速度が低下し、一方では反対にシリコンのエッチング速度が上昇するからである。

【0016】さらにまた、長期に渡り使用し、例えば、 $CF_4$ を用いて100時間以上のプラズマ放電を行なうと、石英製円筒202のうちコイル203の位置にある部分の石英が削られるという（ $SiO_2$ のエロージョン）問題が生じる。削られた石英は $Si$ 、 $SiO_x$ 、 $O$ 等のかたちでプラズマ中に放出される。さらに、長時間プラズマ放電を続けると、石英製円筒202が破断するという問題が生じる。

【0017】この原因は、コイル203端に印加される高周波電力の電圧ピーク値が他の部分に比べて高く、その部分に高周波電界が形成されることにある。そして、この高周波電界により、プラズマと石英製円筒202との間のシース付近の電界（シース電界）が高くなる結果、プラズマ中の高エネルギーのイオンが石英製円筒202の内壁表面に引き込まれ、エロージョンが発生する。

【0018】この現象は、石英製円筒202の壁厚が薄くなると、シース部分がさらに高電界領域に入り込むために、エロージョンの進み方が速くなり、石英製円筒202の破断は加速度に進行することとなる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】上述の如く、従来のプラズマエッチング装置を用いて、シリコン酸化膜にサブハーフミクロンオーダーのコンタクトホールを形成する場

合には、シリコン酸化膜の途中でエッチングが停止し、コンタクトホールを形成できないという問題があった。また、長期に渡り使用すると、石英製円筒がプラズマによりエッチングされ、エロージョンが発生するという問題があった。

【0020】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、生成する化学種やイオンを所望の種類および量に制御し、また、処理容器のエロージョン等を防ぐことで所望のプラズマを生成可能なプラズマ生成装置およびプラズマ生成方法を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】

【概要】上記目的を達成するために、本発明に係るプラズマ生成装置（請求項1）は、プラズマが生成される生成容器と、この生成容器の周囲または内部に設けられた $2\text{MHz}$ 以上の高周波が供給される複数のコイルと、これら複数コイルの少なくとも一のコイルに他のコイルに供給する高周波とは異なる高周波を供給する高周波供給手段とを備えたことを特徴とする。

【0022】また、本発明に係る他のプラズマ生成装置（請求項2）は、上記プラズマ生成装置（請求項1）において、前記高周波供給手段が、インダクタンス体とリアクタンス体とからなる並列共振器と、この並列共振器に接続された高周波電源とからなることを特徴とする。

【0023】また、本発明に係る他のプラズマ生成装置（請求項3）は、上記プラズマ生成装置（請求項1）において、前記複数のコイルの少なくとも2以上のコイルが同軸状に配置されていることを特徴とする。

【0024】また、本発明に係る他のプラズマ生成装置（請求項4）は、上記プラズマ生成装置（請求項1）において、前記各コイルと前記被処理基体との間の距離がそれぞれ異なっていることを特徴とする。

【0025】また、本発明に係る他のプラズマ生成装置（請求項5）は、上記プラズマ処理装置（請求項1）に、前記生成容器内に磁場を形成する手段を設けたことを特徴とする。

【0026】また、本発明に係る他のプラズマ生成方法（請求項6）は、プラズマ生成容器にガスを導入する工程と、前記プラズマ生成容器の周囲に設けられた複数のコイルに $2\text{MHz}$ 以上の高周波を供給し、前記複数のコイルの少なくとも一のコイルに他のコイルとは独立に制御した高周波を供給してプラズマを生成する工程とを有することを特徴とする。

【0027】本発明において、少なくとも一のコイルに供給される高周波は、その周波数、位相または電力が他のコイルに供給される高周波の周波数、位相または電力とは異なることが好ましい。

【0028】また、本発明において、各コイルに異なる高周波を供給し、プラズマにビートを発生させることが

特に好ましい。また、本発明において、複数の並列共振回路を設け、かつ少なくとも 2 個の並列共振回路の結合度を変化させる手段を設けることが好ましい。

【0029】【作用】本発明（請求項 1～請求項 5）によれば、他のコイルとは独立に制御された高周波を少なくとも一のコイルに供給する高周波供給手段により、周波数や電力等のパラメータが異なる 2 種類の高周波をプラズマ源ガスに与えることにより、被処理基体に入射するイオン種、イオン密度、イオンエネルギー、イオンエネルギーの分散、化学種、化学種の量等を従来よりも容易に再現性良く最適化できるようになる。

【0030】また、従来では一つのコイルに発生する電位差を複数のコイルに分散して発生させることにより、個々のコイルに発生する電位差を小さくできるので、エロージョンの発生を防止できるようになる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態（実施形態）を説明する。

（第 1 の実施形態）図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図である。

【0032】図中、1 は処理チャンバを示しており、この処理チャンバ 1 内には被処理基体 11 を載置するサセプタ 12 が設けられている。サセプタ 12 は高周波バイアス電源 13 により高周波バイアスが印加されるようになっている。

【0033】処理チャンバ 1 の上部には外径 80 mm の石英製円筒 2 が設けられ、この石英製円筒 2 の外周には第 1 のコイル 3 および第 2 のコイル 4 が巻かれている。これら処理チャンバ 1、石英製円筒 2 は一体化されており、プラズマ処理室を構成している。第 1 のコイル 3 および第 2 のコイル 4 はほぼ同じインダクタンスを有している。

【0034】第 1 のコイル 3 は、第 1 の可変コンデンサ 5 および第 2 の可変コンデンサ 6 に接続され、第 1 の並列共振回路を構成している。第 1 の可変コンデンサ 5 および第 2 の可変コンデンサ 6 のそれぞれの片端は第 1 の高周波電源 7 に接続されている。この第 1 の高周波電源 7 により高周波電力を上記第 1 の並列共振回路に供給している。これらによって第 1 の高周波供給手段が構成されている。

【0035】同様に、第 2 のコイル 4 は、第 3 の可変コンデンサ 8 および第 4 の可変コンデンサ 9 に接続され、第 2 の並列共振回路を構成している。第 3 の可変コンデンサ 8 および第 4 の可変コンデンサ 9 のそれぞれの片端は第 2 の高周波電源 10 に接続されている。この第 2 の高周波電源 10 により高周波電力を第 2 の並列共振回路に供給している。これらによって第 2 の高周波供給手段が構成されている。

【0036】また、第 1 の高周波電源 7 の出力インピーダンスは 50  $\Omega$  であって、第 1 の高周波電源 7 と第 1 の

並列共振回路とのインピーダンス整合は、可変コンデンサ 5 と第 2 のコンデンサ 6 の容量を変化させることにより行なわれる。

【0037】同様に、第 2 の高周波電源 10 の出力インピーダンスは 50  $\Omega$  であって、第 2 の高周波電源 10 と第 2 の並列共振回路とのインピーダンス整合は、第 3 の可変コンデンサ 8 および第 4 のコンデンサ 9 の容量を変化させることにより行なわれる。

【0038】処理チャンバ 1 は可変コンダクタンスバルブ 15 を介してターボ分子ポンプ 16 に接続されている。また、処理チャンバ 1 には圧力計 17 が設けられており、この圧力計 17 を用いて可変コンダクタンスバルブ 15 の開口度を調整することにより、プラズマ処理室内の圧力を所望のレベルに設定することができる。

【0039】また、石英製円筒 2 の上壁にはガス導入管が設けられており、このガス導入管には第 1 のマスフローメーター 18 および第 2 のマスフローメーター 19 が挿設されている。これらマスフローメーター 18、19 を用いることにより、それぞれ、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガス、CO<sub>2</sub> ガスをプラズマ処理室内に所望の流量でもって導入することができる。

【0040】第 1 の高周波電源 7、第 2 の高周波電源 10 および高周波バイアス電源 13 の周波数、位相、電力は、高周波電源コントローラー 14 によって制御できるようになっている。

【0041】次に上記の如きに構成されたプラズマ処理装置を用いたエッチング方法について説明する。このエッチング方法の特徴は、第 1、第 2 のコイル 3、4 等によりプラズマ中のイオンの種類、分布等を制御してエッチング特性を改善することにある。

【0042】まず、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスおよび CO<sub>2</sub> ガスを第 1 のマスフローメーター 18 および第 2 のマスフローメーター 19 を用いてそれぞれ 10 sccm および 300 sccm の流量でプラズマ処理室内に導入する。このとき、圧力計 17 を用いて、可変コンダクタンスバルブ 15 の開口度を調整して、プラズマ処理室内の圧力を 0.5 Pa に保持する。

【0043】次に第 1 の高周波電源 7 で周波数 13.56 MHz、電力 1.4 KW の第 1 の高周波電力を第 1 のコイル 3 に印加し、続いて、第 2 の高周波電源 10 で周波数 13.56 MHz でかつ第 1 の高周波電力と同位相で電力 1.4 KW の第 2 の高周波電力を第 2 のコイル 4 に印加することにより、プラズマ処理室内にプラズマを発生させる。そして、このプラズマ発生時に、バイアス電源 13 を用いてサセプター 12 に周波数 400 KHz、電力 800 W の高周波バイアスを印加して、異方性エッチングを行なう。

【0044】以上の第 1 の高周波電源 7、第 2 の高周波電源 10 およびバイアス電源 13 の周波数、位相、電力は高周波電源コントローラー 14 によって制御する。

図2に、上記条件（第1、第2の高周波電源7の周波数が共に13.56MHz）で、全面がシリコン酸化膜で被われた円形の被処理基体11をエッチングした場合のエッチング速度の分布を白丸印で示す。

【0045】具体的には、図3（a）に示すように、シリコン基板20上のシリコン酸化膜21をレジスト22に沿ってエッチングし、小孔径のコンタクトホールを形成することを試みた。

【0046】しかし、実際には、図3（b）に示すように、コンタクトホールの底部および側壁にエッチング堆積物23が厚く堆積し、シリコン酸化膜21の途中でエッチングは停止し、シリコン基板20に達するコンタクトホールを形成することができなかった。

【0047】そこで、第2の高周波電源10の周波数を13.56MHzから減少する方向にわずかにずらし、具体的には13.21MHzに設定しなおして、小孔径のコンタクトホールを形成することを試みた。なお、他の条件は同じである。

【0048】図2に、この条件（第1の高周波電源7の周波数が13.56MHz、第2の高周波電源7の周波数が13.21MHz）で、全面がシリコン酸化膜で被われた円形の被処理基体11をエッチングした場合のエッチング速度の分布を黒丸印で示す。図2から、特に基板中央部のエッチング速度が速くなることにより、エッチング速度の分布が改善されることが分かる。

【0049】この場合、図3（c）に示すように、コンタクトホールの底部および側壁にエッチング堆積物23が薄く堆積し、シリコン酸化膜21の途中でエッチングは停止することなく、シリコン基板20に達する小孔径のコンタクトホールを形成することができた。具体的には、基板全面にわたって穴径0.25μm、アスペクト8のコンタクトホールを形成できた。

【0050】このような結果となった理由は以下のように考えられる。第1の高周波電源7の周波数と第2の高周波電源10の周波数とを僅かにずらすことにより、プラズマに印加される2つの高周波電力の周波数差Δf（350kHz）のビート（喰り）により新たな電界が発生する。

【0051】この結果、この電界にイオンが追従して運動することにより、生成されるイオンの種類、エネルギーが変化し、エッチングに最適なプラズマが発生したからだと考えられる。すなわち、周波数差Δfを変化させることにより、エッチングに最適なプラズマを発生することが可能となった。

【0052】なお、本実施形態では、第1の高周波電源7で発生する高周波の周波数は13.56MHz、第2の高周波電源10で発生する高周波の周波数は13.21MHzで、周波数差Δfは350kHzであるが、処理チャンバ1および石英製円筒2の大きさ、第1のコイル3および第2のコイル4のそれぞれの直径、ピッチお

よび巻き数に応じて、第1の高周波電源7および第2の高周波電源10の周波数差Δfを変化させて良い。ただし、上記二つの周波数はともに約2MHz以上であることが好ましい。

（第2の実施形態）図4は、本発明の第2の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図である。また、図5は、図4のプラズマ処置装置を上から見た場合の模式図である。なお、図1のプラズマ処置装置と対応する部分には図1と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。

【0053】本実施形態では、石英製円筒2の代わりに石英板31を用いて偏平なプラズマ処理室を構成し、第1のコイル3および第2のコイル4に対応する第1の螺旋状コイル32および第2の螺旋状コイル33をプラズマ処理室の上方に設置してある。

【0054】また、第1の螺旋状コイル32と第2の螺旋状コイル33の途中に設けられたタップに第5の可変コンデンサー34が設置されており、この第5の可変コンデンサー34により、第1の並列共振回路と第2の並列共振回路との結合度を変化させることが可能となっている。

【0055】次に上記の如きに構成されたプラズマ処理装置を用いたエッチング方法について説明する。具体的には、図6に示すように、0.25μmのデザインルールで、フォトリソパターン35をマスクにして、Al-Si（1%）-Cu（0.5%）合金膜36をエッチングして、微細パターンの配線を形成する場合について説明する。なお、図6において、38はシリコン基板、37はシリコン酸化膜を示している。

【0056】まず、C12ガスおよびBC13ガスを第1のマスフローメーター18および第2のマスフローメーター19を用いてそれぞれ50sccmおよび25sccmの流量でプラズマ処理室内に導入する。このとき、圧力計17を用いて、可変コンダクタンスバルブ15の開口度を調整して、プラズマ処理室内の圧力を0.3Paに保持する。

【0057】次に第1の高周波電源7で周波数13.56MHz、電力300Wの第1の高周波電力を第1のコイル3に印加し、続いて、第2の高周波電源10で周波数13.56MHzでかつ第1の高周波電力と同位相で電力300KWの第2の高周波電力を第2のコイルに印加することにより、プラズマ処理室内にプラズマを発生させる。そして、このプラズマ発生時に、バイアス電源13を用いてサセプター12に周波数2MHz、電力300Wの高周波バイアスを印加して、異方性エッチングを行なう。

【0058】以上の第1の高周波電源7、第2の高周波電源10およびバイアス電源13の周波数、位相、電力は高周波電源コントローラー14によって制御する。図7に、上記条件（第1、第2の高周波電源7の周波数が

伴に13.56MHz)で、エッチングを行なった場合の合金膜36のエッチング速度の分布を白丸印で、フォトレジストパターン35のエッチング速度の分布を白三角印で示す。

【0059】図7から、合金膜36のエッチング速度分布はばらつきが大きく、基板中央部で対レジスト選択比(合金膜36のエッチング速度/フォトレジストパターン35のエッチング速度)が2以下になり、合金膜36が厚い場合には、微細パターンの配線を形成することは困難であることが分かる。

【0060】そこで、第2の高周波電源10の周波数を13.56MHzから減少する方向にわずかにずらし、具体的には13.21MHzに設定しなおし、300Wの電力を発生させ第2のコイル4に印加して、微細パターンの配線を形成することを試みた。なお、第5の可変コンデンサー34の容量は約4PFに設定した。

【0061】図7に、この条件(第1の高周波電源7の周波数が13.56MHz、第2の高周波電源7の周波数が13.21MHz)で、エッチングを行なった場合の合金膜36のエッチング速度の分布を黒丸印で、フォトレジストパターン35のエッチング速度の分布を黒三角印で示す。

【0062】図7から、合金膜36のエッチング速度分布の均一性が改善されていることが分かる。また、対レジスト選択比も基板全面に渡って3以上を確保できることが分かる。

【0063】なお、本実施形態では、第1の高周波電源7で発生する高周波の周波数は13.56MHz、第2の高周波電源10で発生する高周波の周波数は13.21MHzとしたが、上記二つの周波数は約2MHz以上であれば良く、また、周波数差 $\Delta f$ も適宜変化させて良い。

【0064】なお、上記第1、第2の実施形態では、サセプター12に印加するバイアスの周波数はそれぞれ400KHz、2MHzとしたが、イオンが追従できるか、負の自己バイアスが発生する周波数範囲である約100KHzから150MHzの範囲の周波数であれば良い。

【0065】また、上記第1、第2の実施形態では、プラズマ処理としてエッチングを例にあげて説明したが、本発明は、プラズマCVD法や、プラズマによる表面改質、表面洗浄など他のプラズマ処理にも適用できる。

(第3の実施形態)図8は、本発明の第3の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図である。

【0066】図中、51はプラズマ処理室を示しており、このプラズマ処理室51は石英製円筒52と処理チャンバ62とから構成されている。処理チャンバ62内には被処理基体59を載置するサセプタ58が設けられている。プラズマ処理室51はゲートバルブ53を介してターボ分子ポンプ54で真空排気されるようになって

いる。

【0067】プラズマ処理室51の外周には第1のコイル551と第2のコイル552が巻かれている。これら二つのコイル551、552は同軸状に上下に配置されている。

【0068】高周波発振器56で得られた高周波電力(周波数は例えば2MHz)は、第1の高周波電力増幅器571によって1.5KWまで増幅され、インピーダンス整合器641を介して第1のコイル551に印加される。

【0069】また、高周波発振器56で得られた高周波電力は、第2の高周波電力増幅器572によって高周波電力1.5KWまで増幅され、インピーダンス整合器642を介して第2のコイル552にも印加される。

【0070】サセプター58はインピーダンス整合器63を介してバイアス発生器60に接続しており、これにより、サセプター58に13.56MHzの高周波バイアスを印加できるようになっている。

【0071】被処理基体59は温度制御されたサセプター58上に図示していない静電チャック機構によりに固定される。上記温度制御は、例えば、被処理基体59(最表面は静電チャック電極)とサセプタとの間に熱伝導率を高めるためのヘリウムガス等のガスを圧力10 Torr程度まで導入することにより行なわれる。

【0072】石英製円筒52の上壁には反応性ガスを導入するためのガス導入管61が設けられている。上記反応性ガスは、図示しないマスフローコントローラおよび圧力測定ゲージにより、一定流量、一定圧力をもってプラズマ処理室内に導入されるようになっている。

【0073】なお、図中、65は周辺リング、66は絶縁部材、68はロードロック室、69はゲートバルブ、89はシャワーヘッドを示している。次に上記の如きに構成されたプラズマ処理装置を用いたエッチング方法について説明する。

【0074】まず、被処理基板59として、図9(a)に示すように、8インチ径のシリコン基板71上に、厚さ8nmの薄いゲート酸化膜73、薄い $n^+$ 型多結晶シリコン膜74、薄いWSi膜75が順次形成されたものを用いる。

【0075】そして、WSi膜75、 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74からなる薄い積層膜をレジストパターン76をマスクにエッチングする。なお、図中、71は素子分離絶縁膜を示している。

【0076】被エッチング薄膜は2層構造の積層膜であるため、場合によっては、それぞれの膜の性質によりエッチング条件をそれぞれの膜に合わせて途中で変更する必要がある。また、下地のゲート酸化膜73が薄いために、 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74とゲート酸化膜73との間のエッチング選択比は高い値が要求される。

【0077】そこで、本実施形態では、上層のWSi膜



75をエッチング加工する条件を、 $Cl_2 = 20\text{ sccm}$ 、 $O_2 = 10\text{ sccm}$ 、ガス圧力 $3\text{mTorr}$ 、第1および第2のコイル551、552に印加する高周波の電力 $1\text{ kW}$ 、高周波バイアスの電力 $150\text{ W}$ 、サセプタ58の温度 $40^\circ\text{C}$ とした。

【0078】この条件でのWSi膜75のエッチング速度は約 $0.45\mu\text{m}/\text{分}$ であり、側面の垂直なエッチング形状を達成できた(図9(b))。同一の条件での下層の $n^+$ 型多結晶シリコン膜74のエッチング速度は約 $0.3\mu\text{m}/\text{分}$ であった。すなわち、 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74に対するWSi膜75のエッチング選択比は約1.5であった。

【0079】次に下層の $n^+$ 型多結晶シリコン膜74をエッチング加工する条件を、 $HBr = 50\text{ sccm}$ 、ガス圧力 $1\text{ Pa}$ 、第1のコイル551に印加する高周波の電力 $1\text{ kW}$ 、第2のコイル552に印加する高周波の電力 $0.4\text{ kW}$ とした。

【0080】ここで、第2のコイル552への高周波電力を下げたのは、ゲート酸化膜73のエッチング速度を遅くするためである。すなわち、 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74をオーバエッチングした際に、露出したゲート酸化膜73がエッチングされるのを極力抑えるためである。

【0081】 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74のエッチングでは多くのラジカル種(ここではBr原子)が必要であり、その主な生成を第1のコイル551により行なう。比較的寿命の長いラジカルはシリコン基板71から離れたところで生成しても充分な量が拡散、あるいはガスの流れによってシリコン基板71に供給される。

【0082】一方、イオン電流量が増加するとゲート酸化膜73のエッチング速度が上昇するため、シリコン基板71には $n^+$ 型多結晶シリコン膜74のエッチングに必要な以上にはイオンを供給する必要はない。

【0083】イオンの寿命は短く、シリコン基板71に到達するイオンは基板付近で生成されたものが主になるため、その量はシリコン基板71に近いコイル、つまり、第2のコイル552により制御することができる。

【0084】本実施形態によれば、第2のコイル552の高周波電力を下げることで、 $n^+$ 型多結晶シリコン膜74のエッチング速度を下げずに、ゲート酸化膜73に対するエッチング選択比を上げることができる。

【0085】また、高周波バイアス電力は $100\text{ W}$ 、サセプタ温度 $40^\circ\text{C}$ である。この条件での $n^+$ 型多結晶シリコン膜74のエッチング速度は約 $0.35\mu\text{m}/\text{分}$ 、ゲート酸化膜73に対するエッチング選択比は約9.5であった。

【0086】エッチング形状は図9(c)に示すように、垂直な側面を持った良好なものであり、いわゆる、寸法変換差(Critical Dimension Loss)が極めて少ないことが分かる。

【0087】また、本実施形態によれば、石英製円筒52の内面に発生する電界を従来に比べ低減できる。これは、従来は一つのコイルに $2\text{ kW}$ 印加して行なっていたプロセスを第1、第2のコイル551、552にそれぞれに $1\text{ kW}$ ずつ印加して行なうことにより、第1、第2のコイル551、552にかかる高周波電力の電圧振幅のピーク値を、本実施形態と同様の構成の単一コイル型に比べて十分に低くできるからである。具体的には、従来では $1.4\text{ kW}$ であったものが、本実施形態では $0.67\text{ kV}$ まで下げられることが分かった。

【0088】実際に、プラズマ放電を繰り返し行ない、石英製円筒52の内側のエロージョンの様子を調べたところ、累計放電時間100時間を経過した後も従来見られたようなコイルに沿ったエロージョンの痕跡は発見できなかった。

【0089】また、石英製円筒52の内面が削れて、そのエッチング生成物の一部がプラズマ処理室51の金属部分内面に付着して堆積膜となるような現象も認められなかった。

【0090】さらに、長時間のプラズマ放電後も上記エッチング特性は殆ど変化せず、安定なエッチングが可能であることが分かった。このような効果は先に述べた機構と同一の機構により第1および第2の実施形態においても得られる。

(第4の実施形態)図10は、本発明の第4の実施形態に係るプラズマ処理装置の概略構成を示す模式図である。なお、図8のプラズマ処理装置と対応する部分には図8と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。

【0091】本実施形態では、三つのコイル551~553を用いている。第1のコイル551は第3の実施形態のそれと同じである。第2のコイル552と第3のコイル553とは重ねて巻かれている。この点が第3の実施形態と異なっている。この第3のコイル553はインピーダンス整合器643を介して高周波電力増幅器573に接続されている。

【0092】さらに、本実施形態では、高周波発振器56の出力信号を高周波位相制御器(フェイズシフター)85により位相制御して各高周波電力増幅器571~573に供給している。

【0093】また、第2のガス導入管86とシャワーヘッド87を通して、第1のコイル551と第2のコイル552との間の位置から第2のガスを導入することができるようになっている。

【0094】シャワーヘッド87の各ガス吹き出し口はそれぞれ被処理基体59の方向を向くように形成されており、被処理基体59に向けて均一にガスを供給できるようになっている。

【0095】また、本実施形態では、第1のコイル551が巻かれた石英製円筒52の内壁付近に抵抗率の高い(不純物の少ない)シリコン板80を配置してある。次

に上記の如きに構成されたプラズマ処理装置を用いた成膜方法について説明する。この成膜方法は、図11の断面図に示された構造のプロセスの一部に使用される。

【0096】図中、91はトランジスタ等の素子（不図示）が形成された8インチ径のシリコン基板を示している。シリコン基板91の表面には素子分離絶縁膜92が形成され、この素子分離絶縁膜92上には第1の金属配線93が形成されている。さらに、表面が露出したシリコン基板91、素子分離絶縁膜92および第1の金属配線上には第1の層間絶縁膜94が形成されている。そして、その上に第2の金属配線95が形成されている。これらの上には第2、第3の層間絶縁膜96、97が形成され、これら層間絶縁膜96、97に形成されたビアホールを介して第3の金属配線98が第2の金属配線95に接続している。

【0097】このように、金属（現在多くの場合はAl合金を使用している）配線を何層か積み上げることにより、素子の集積化を進めることが、最先端の半導体装置では行なわれている。

【0098】このような微細で同一層の金属配線間が狭い構造の場合は、層間絶縁膜94、96、97の誘電率が金属配線の応答速度を決める重要な要素となり、誘電率が低いほどデバイスの動作速度は速くなる。

【0099】そのために、最近では通常の層間絶縁膜（酸化膜）にFを数%添加して低誘電率化を図る試みがなされている（例えば、宮島、他、第16回ドライプロセスシンポジウム予稿集、p. 133、1994年、電気学会）。

【0100】ここでは、このようなFが添加された低誘電率の層間絶縁膜の生成プロセスを例に上げ説明する。まず、第1のガス導入管88とシャワーヘッド89を通してCF<sub>4</sub>（流量15sccm）とO<sub>2</sub>（流量20sccm）の混合ガスを、第2のガス導入管86とシャワーヘッド87を通してTEOS（テトラ・エトキシ・シラン、流量15sccm）とO<sub>2</sub>（流量30sccm）の混合ガスを導入し、ガス圧力を7.5mTorrとする。

【0101】次に第1～第3のコイル551～553にそれぞれ周波数13.56MHzで高周波電力1.5kW、0.7kW、1.5kWの高周波を印加する。被処理基板59はセラミクス製の静電チャックによりサセプタ58に固定し、サセプタ温度を400℃に維持する。サセプタ58に印加した高周波バイアスは周波数400kHz、電力100Wである。

【0102】この条件で成膜した絶縁薄膜の誘電率は3.2であった。さらに、この絶縁薄膜の組成分析をFT-IR（フーリエ変換赤外分光）法で測定したところ、フッ素の含有率を表わすSi-F/Si-Oは約5%、不純物であるOH基に起因した赤外吸収ピークは検出限界以下という良好な結果を得た。OH基はデバイス

を長期に亘り動作させるときの信頼性の劣化原因となる。OH基は成膜後、大気に晒されて大気中の水分が膜に吸収されても増加する。

【0103】本実施形態に従って成膜された絶縁薄膜を一周間クリーンルームの雰囲気中に放置したがOH基に起因した吸収ピーク強度の増加は認められなかった。また、石英製円筒52の内面のエロージョンも全く認められず、石英壁からの放出物による成膜への影響は数十時間の放電では皆無であった。

【0104】このような優れた成膜が可能になった理由は以下のように考えられる。まず、ガス導入管88から導入されたCF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガスは、第1のコイル551で生成されたプラズマにより分解され、これにより、F、CF<sub>x</sub>（x=1～3）、O、CO、COF、…等の活性種やそれぞれのイオンが生成される。

【0105】このとき、抵抗値の高いシリコン基板91はある程度の高周波を吸収し、いわゆる高周波加熱で約250℃以上に加熱される。高温となったシリコン基板91は容易にFやCF<sub>x</sub>等のFの化合物と反応を起こす。

【0106】さらに、第1のコイル551端には高電圧が発生するために、プラズマ処理室内の内面、つまり、シリコン基板91の表面付近でも高電界が発生し、イオン種がシリコン基板91に引き込まれシリコンのエッチングが起こる。

【0107】これらのエッチング反応により、SiF<sub>x</sub>（x=1～4）、あるいはSiOF<sub>1</sub> or SiOF<sub>2</sub>が生成する。次に第2のガス導入管86より導入されたTEOSとO<sub>2</sub>との混合ガスは、第1のコイル551で生成されたプラズマにより分解生成された活性種と出会い、さらに、第2、第3のコイル552、553により高密度のプラズマ中で分解が進む。

【0108】ここで、第2のコイル552は第3のコイル553より幅が大きく、第2のコイル552だけで囲まれている領域81の内部では、その上方よりプラズマ密度が低下し、この領域81を上記の活性種が輸送されるときに反応が進み、堆積膜の前駆体（プリカーサ）となる堆積種が生成されと考えられる。

【0109】さらに、上記領域81で生成されたイオンがシリコン基板91の表面まで到達し、表面に吸着した上記堆積種の反応を促進し、高品質膜の形成を助ける。ここでの反応とは、上記堆積種がさらにO原子やF原子を取り込み、結合の弱いHを放出するとともに、膜としてのネットワーク形成を促進していく反応である。

【0110】このようにして、プラズマ放電の空間におけるプラズマ密度等のプラズマ特性を制御でき、F添加のシリコン酸化膜を形成するのに適したプラズマを形成できるようになる。

【0111】また、第2、第3のコイル552、553が重畳した極めて高密度のプラズマを形成する部分があ

っても、大電力を複数のコイルに分散させて供給することにより、石英製円筒 52 の内面のエロージョンを起こすことなく、長期に亘って安定したプラズマ表面処理（ここでは成膜）が可能となる。

【0112】また、第1のコイル551 の上部では逆に単体のコイルに高電力を供給し、意図的に内壁表面に高電界部分を形成し、壁材料（本実施形態ではシリコン）をエッチングすることにより、そのエッチング生成物を成膜材料として利用することも可能になる。

【0113】なお、上記プロセスで各コイル551～553 に供給する高周波電力の位相については、まず、第1のコイル551 と第2のコイル552 を同位相に設定し、第3のコイル553 の高周波位相を徐々に変化させ、プラズマ密度が最大になるように設定する。

【0114】プラズマ処理室内にプローブ等を入れて、プラズマ密度を直接測定することは、石英製円筒52の外周にコイルが巻かれているので困難である。しかし、コイルの隙間から漏れるプラズマの発光を測定することにより、プラズマ密度を測定することができる。このような発光に基づいたプラズマ密度の測定を利用してプラズマ密度が最大になるようにする。なお、第2、第3のコイル552、553の位相のずれは、それぞれのコイルの長さやピッチ等に依存するため、実際のコイルに応じて調整する必要がある。

【0115】次に第2、第3のコイル552、553の高周波電力の位相関係を変えずに、第1のコイル551の高周波電力の位相をずらしていく。このときもやはりプラズマ密度は変化していくが、ここではプラズマ密度を高くすることが目的ではなく、適宜、成膜を行ないながら、所望の膜特性（フッ素や水素、炭素等の含有量、誘電率、吸湿性など）を満たす条件に設定する。

【0116】本実施形態では、第1のコイル551の位相が0の時、第2のコイル552の位相を0°、第3のコイル553の位相を120°とした。ここで、第1、第2のコイル552、553の位相を等しくしたのは、本実施形態では、ガス導入管86側のコイル端を接地電位としたため、ここでの位相のずれはプロセスに影響を与えないからである。（第5の実施形態）図12は、本発明の第5の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図である。なお、図8、図10のプラズマ処置装置と対応する部分には図8、図10と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。

【0117】本実施形態では、四つのコイル551～554を使用している。第1、第2のコイル551、552は第3の実施形態のそれと同じである。第3のコイル553はスパイラル状に誘電体板122上に配置され、第4のコイル554は誘電体円筒123の側面に巻かれている。

【0118】各コイル551～554はそれぞれインピーダンス整合器641～644を介して高周波電源57

1～574に接続され、高周波電力が供給されるようになっている。

【0119】また、本実施形態では、サセプタ58を高パルス電圧を発生する高電圧電源130に接続している。この高電圧電源130により、サセプタ58に不純物のイオン注入に必要な数kVの高電圧を瞬間的に印加できる。

【0120】次に上記の如く構成されたプラズマ処理装置を用いたイオン注入について説明する。プラズマ処理室51内にBF<sub>3</sub>ガスを導入するとともに、第1、第2のコイル551、552に高周波電力0.8kWを印加してプラズマを生成し、BF<sub>3</sub>ガスを分解し、B<sup>+</sup>イオンを生成する。このB<sup>+</sup>イオンをサセプタ58に高パルス電圧を印加して、被処理基体59に不純物としてのBを注入する。

【0121】注入深さはサセプタ58の印加電圧（被処理基体59の電位）で決まり、注入量はプラズマから引き出せるイオン電流量で決まる。このイオン電流量はプラズマ密度と印加電圧の関数となる。

【0122】そこで、被処理基体59近くのプラズマ密度を制御するために、第3、第4のコイル553、554を利用する。すなわち、第3のコイル553には0.5～1.2kWまでの電力を供給し、第4のコイル554には第3のコイル553と連動して0.2～1kWの範囲の電力を印加して、被処理基体59の外周部分でプラズマ密度が低下するのを防止する。

【0123】かくして本実施形態によれば、被処理基体59のプラズマ密度を主に第2のコイル552に印加する高周波電力で制御し、所望の濃度に不純物をイオン注入することが可能になる。また、複数のコイル551～554を使用しているため、石英製円筒52、誘電体板122、誘電体円筒123等の誘電体部材の表面で発生する電界強度を従来装置よりも低くでき、エロージョンの発生を防止できる。

（第6の実施形態）図13は、本発明の第6の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図である。なお、図8のプラズマ処置装置と対応する部分には図8と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。

【0124】本実施形態の特徴は、磁界を利用してプラズマ密度の均一性を改善することにより、さらに石英製円筒52の内壁のエロージョンを低減することにある。図中、150、151はソレノイドコイルで構成された第1、第2の電磁石を示しており、これら第1、第2の電磁石150、151の内側には縦方向の磁界が形成される。第1、第2の電磁石150、151はそれぞれ第1、第2のコイル551、552の外側に配置されている。

【0125】次に上記の如く構成されたプラズマ処理装置を用いたエッチング方法について説明する。具体的には、シリコン基板の表面にトレンチ溝を形成する場合の

エッチング方法である。

【0126】エッチングガスとして、HBr (150 sccm) と NF<sub>3</sub> (12 sccm) と O<sub>2</sub> (7 sccm) との混合ガスを使用する。ガス圧力は 5 mTorr に設定する。

【0127】次に高周波電源 571 により周波数 13.56 MHz、電力 2 KW の高周波を第 1 のコイル 551 に印加し、高周波電源 572 により周波数 40.68 MHz、電力 2.5 KW の高周波を第 2 のコイル 552 に印加する。また、バイアス発生器 60 によりサセプタ 58 には周波数 500 KHz、電力 800 W の高周波バイアスを印加する。なお、被処理基体 59 (ここではシリコン基板) は図示していない冷却機構により約 30℃ に制御されている。

【0128】本実施形態の目的のためには石英製円筒 52 の内壁付近に強い磁界を形成することが望ましい。したがって、本実施形態では、第 1 の電磁石 150 の中央付近の石英製円筒 52 の内壁で約 200 G、第 2 の電磁石 151 の中央付近の石英製円筒 52 の内壁で約 250 G となるように磁界強度を設定した。

【0129】この場合、石英製円筒 52 の中心軸付近での磁界強度はそれぞれ約 115 G、150 G であった。また、被処理基体 59 の表面では中央付近で 90 G、周辺部で約 120 G であった。なお、プラズマ密度の均一性をさらに高くするには、望ましくは被処理基体 59 の表面付近の磁界を (磁気ベクトルの方向を含めて) 均一にする必要がある。

【0130】このような条件で、シリコン基板上に形成した酸化膜をマスクにしてシリコン基板をエッチングしてトレンチ溝を形成した結果、エッチング速度 2.3 μm/分、シリコン基板に対する上記酸化膜に対する選択比は 35 であり、穴径 0.3 μm、深さ 9 μm の深いトレンチ溝を形成することができた。

【0131】さらに、石英製円筒 52 の内壁のエロージョンは全く認められず、わずかな堆積膜が観察された。これはエッチング反応による生成物が付着したものと考えられる。

【0132】本実施形態の場合、第 2 のコイル 552 に与える高周波の周波数を第 1 のコイル 551 のそれよりも高め、さらに電力も高めることにより、プラズマ密度を基板付近で高めることができる。

【0133】このような高電力を与えても、本実施形態のように、複数のコイル 551、552 を使用して、さらに誘電体管とほぼ平行な磁界を供給することにより、長期間に亘り安定なエッチングプロセスが可能となる。

(第 7 の実施形態) 図 14 は、本発明の第 7 の実施形態に係るプラズマ処置装置 (エッチング装置) の概略構成を示す模式図である。なお、図 8 のプラズマ処置装置と対応する部分には図 8 と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。

【0134】図中、134、135、136、137 は同軸状に配置された第 1 ~ 第 4 のアンテナコイルを示しており、コイル 134 ~ 137 は金属製のコイル本体 144 を石英等のモールド材 143 で封止した構成になっている。これはコイル本体 144 が直接プラズマに晒されてエッチングされるのを防ぐためであり、本実施形態においてコイル本体 144 を封止しているモールド材 144 の外面が、石英製円筒 52 の内壁に相当する。したがって、本実施形態ではこのモールド材 144 のエロージョン防止が目的となる。

【0135】次にこのように構成されたプラズマ処理装置を用いた酸化膜のエッチング方法について説明する。まず、エッチングガスとしては C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> (流量 10 sccm) と CO (流量 200 sccm) との混合ガスを使用し、ガス圧力は 10 mTorr に設定する。

【0136】第 1 ~ 第 4 のアンテナコイル 134 ~ 137 にそれぞれ電力 100 W、150 W、200 W の高周波を印加する。周波数は 2 MHz で共通である。第 1 から第 4 までのコイルはそれぞれ 100 W、150 W、200 W とした。さらに、コイル 138 には 800 W を印加する。なお、このコイル 138 とアンテナコイル 134 ~ 137 は同軸状に配置されている。

【0137】また、サセプタ 58 には 380 KHz の低周波電力を印加してプラズマで生成されたイオンを被処理基体 59 に引き込みエッチング反応を促進させる。この方法によれば、各コイル 134 ~ 138 の間の空間に高い密度のプラズマを容易に生成される。さらに、プラズマ処理室 51 の側面のコイル 52 により、プラズマ処理室 51 の側面付近においても比較的高いプラズマ密度のプラズマが生成されるために、被処理基体 49 の周辺部でのプラズマ密度の低下がなく、極めて均一性良くエッチング加工できる。

【0138】なお、上記第 3 ~ 第 7 の実施形態では、複数のコイルを同軸状に配置したが、これは円形の均一なプラズマ密度を生成し、円形の被処理基体を均一にプラズマ処理することを想定したからであって、被処理基体の形状等の条件が変わればそれに合わせて適宜配置形態を変えると良い。また、複数のコイル間で周波数をずらしたり、高周波の位相を調整したりすることにより、種々プロセス的にも変形が可能となる。また、一部のコイルに印加する高周波を数 KHz から数百 KHz で変調することにより、活性種生成やプラズマの空間分布の均一性を高めることができる。

【0139】また、上記第 3 ~ 第 7 の実施形態では、プラズマ処理としてエッチング等を例にあげて説明したが、本発明は、プラズマ CVD 法や、プラズマによる表面改質、表面洗浄など他のプラズマ処理にも適用できる。いずれの用途の場合においても、プロセス特性、装置の生産性、耐久性などを著しく改善できる。

【0140】

【発明の効果】以上詳述したように本発明（請求項1～請求項3）によれば、第1の高周波供給手段および第2の高周波供給手段により、周波数等が異なる2種類の高周波をプラズマ源ガスに与えることにより、被処理基体に入射するイオン種等を従来よりも容易に最適化でき、微細化が進んでも、良好なプラズマ処理が可能となる。

【0141】また、本発明（請求項4～請求項7）によれば、従来一つのコイルに印加して電力を複数のコイルに分散して印加することにより、個々のコイルに印加する電力を小さくできるので、エロージョンの発生を防止できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図2】本発明の効果を示す被処理基体上におけるエッチング速度の分布図

【図3】図1のプラズマ処理装置を用いたエッチング方法を示す断面図

【図4】本発明の第2の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図5】図4のプラズマ処置装置を上から見た模式図

【図6】図4のプラズマ処理装置を用いたエッチング方法を示す断面図

【図7】本発明の効果を示す被処理基体上におけるエッチング速度の分布図

【図8】本発明の第3の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図9】図8のプラズマ処置装置を用いたエッチング方法を示す断面図

【図10】本発明の第4の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図11】図10のプラズマ処置装置を用いて形成するデバイスの構造を示す断面図

【図12】本発明の第5の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図13】本発明の第6の実施形態に係るプラズマ処置装置の概略構成を示す模式図

【図14】本発明の第7の実施形態に係るプラズマ処置

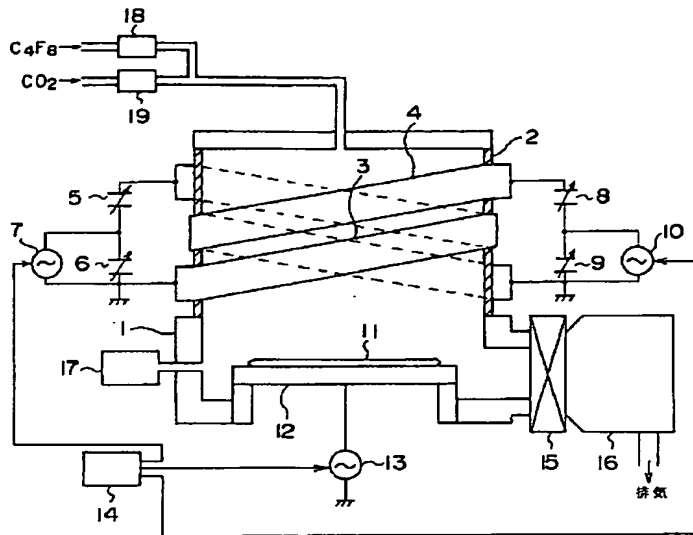
装置の概略構成を示す模式図

【図15】従来の誘導結合型プラズマエッチング装置の概略構成を示す模式図

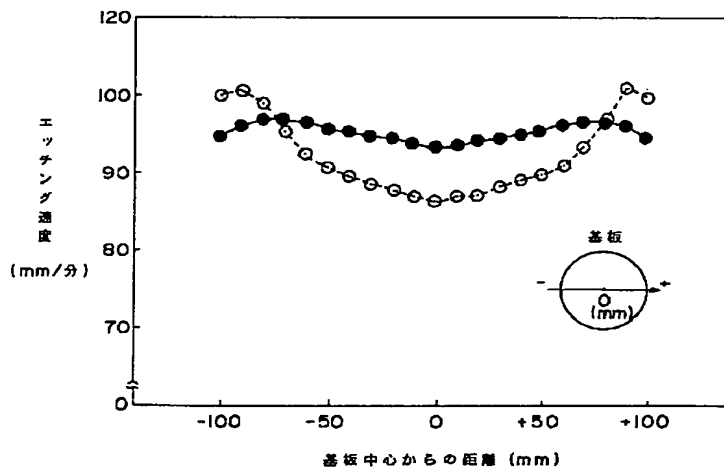
【符号の説明】

- 1…処理チャンバ
- 2…石英製円筒
- 3…第1のコイル
- 4…第2のコイル
- 5…第1の可変コンデンサ
- 6…第2の可変コンデンサ
- 7…第1の高周波電源
- 8…第3の可変コンデンサ
- 9…第4の可変コンデンサ
- 10…第2の高周波電源
- 11…被処理基体
- 12…サセプタ
- 13…高周波バイアス電源
- 14…高周波電源コントローラ
- 15…可変コンダクタンスバルブ
- 16…ターボ分子ポンプ
- 17…圧力計
- 18…第1のマスフローメーター
- 19…第2のマスフローメーター
- 51…プラズマ処理室
- 52…石英製円筒
- 53…ゲートバルブ
- 54…ターボ分子ポンプ
- 55<sub>1</sub>…第1のコイル
- 55<sub>2</sub>…第2のコイル
- 56…高周波発振器
- 57<sub>1</sub>…第1の高周波電力増幅器
- 57<sub>2</sub>…第2の高周波電力増幅器
- 58…サセプタ
- 59…被処理基体
- 60…バイアス発生器
- 61…ガス導入管
- 62…処理チャンバ

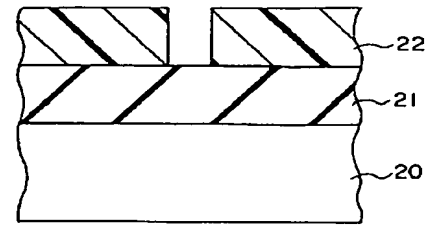
【図 1】



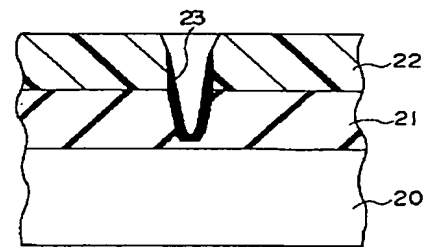
【図 2】



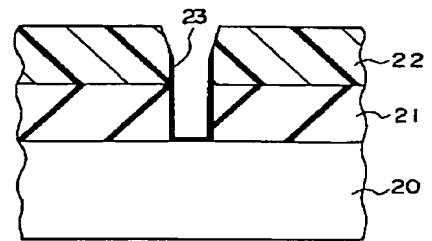
【図 3】



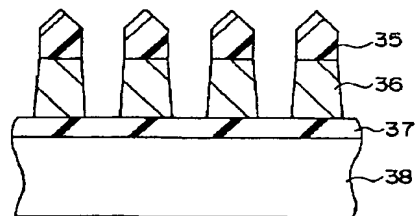
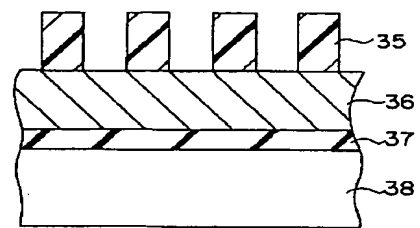
(a)



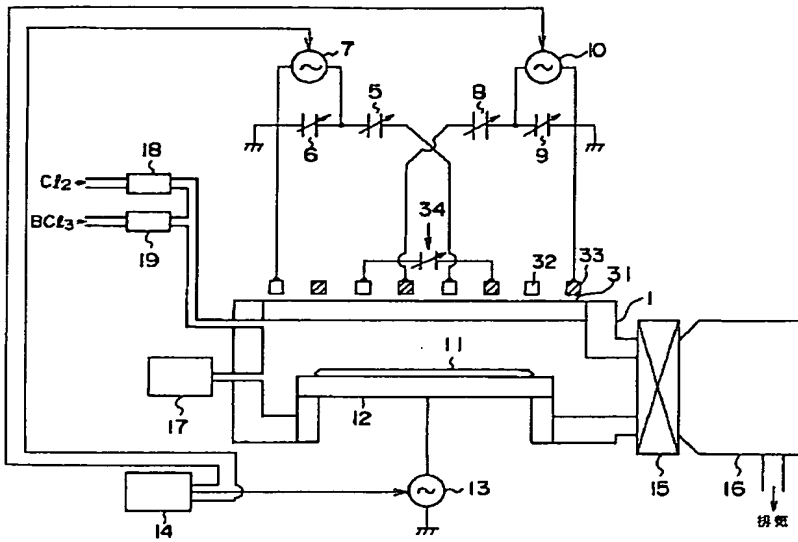
(b)



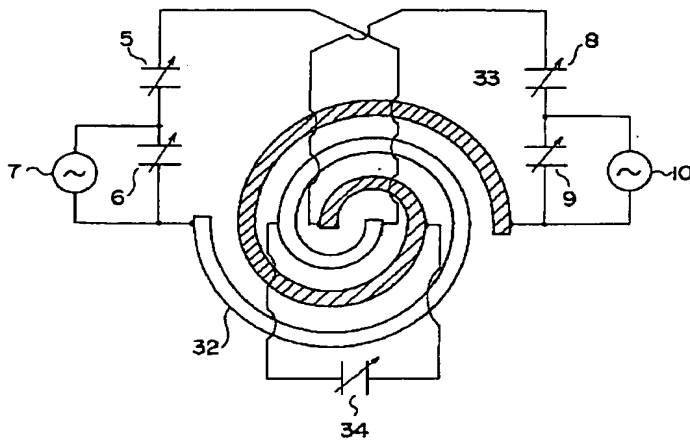
【図 6】



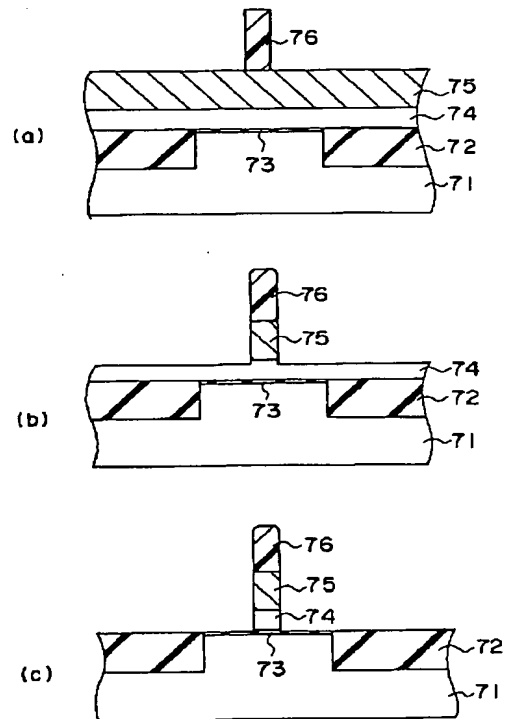
【図 4】



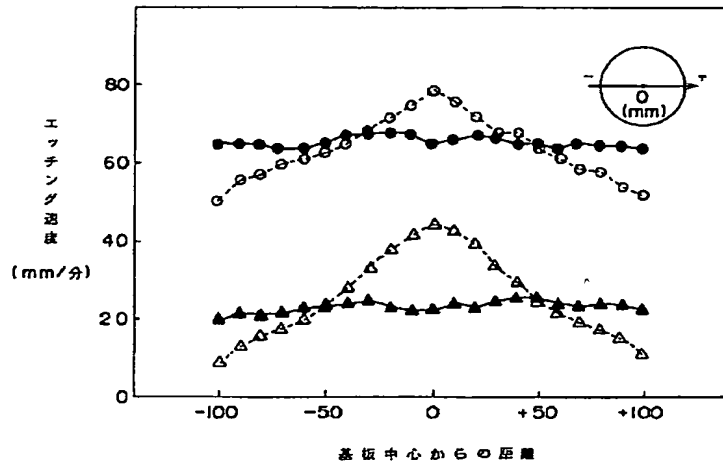
【図 5】



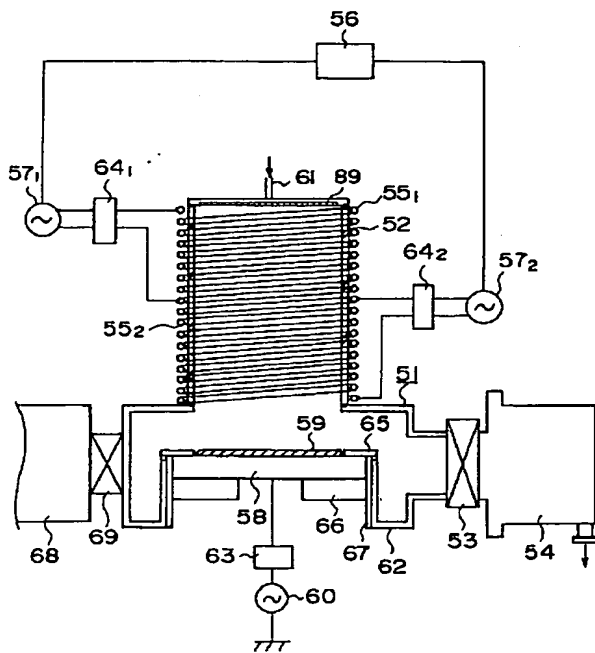
【図 9】



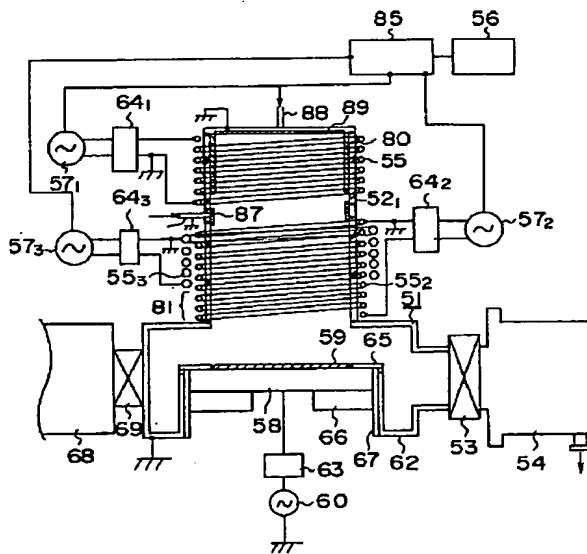
【図 7】



【図 8】

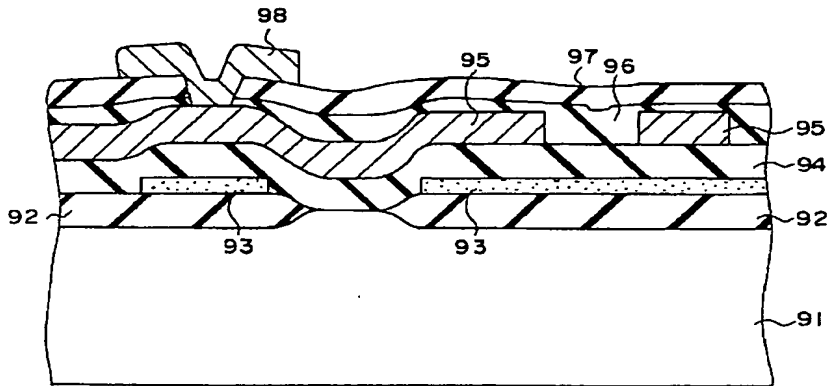


【図 10】

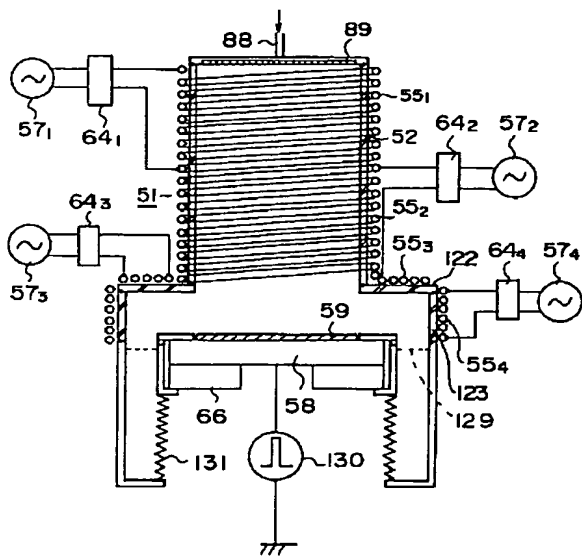




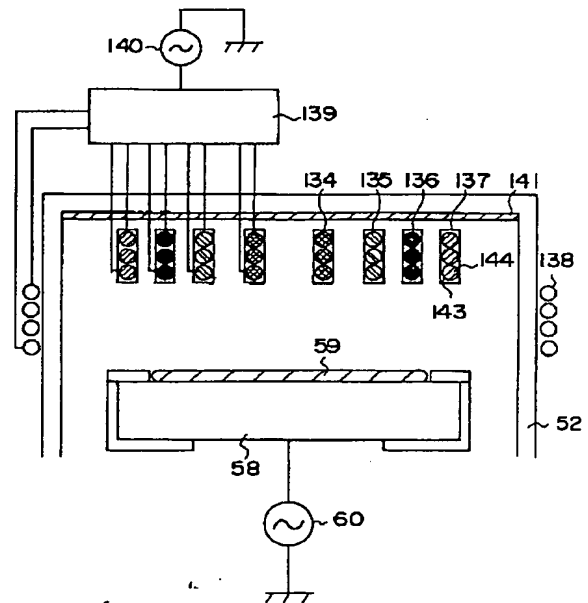
【図 11】



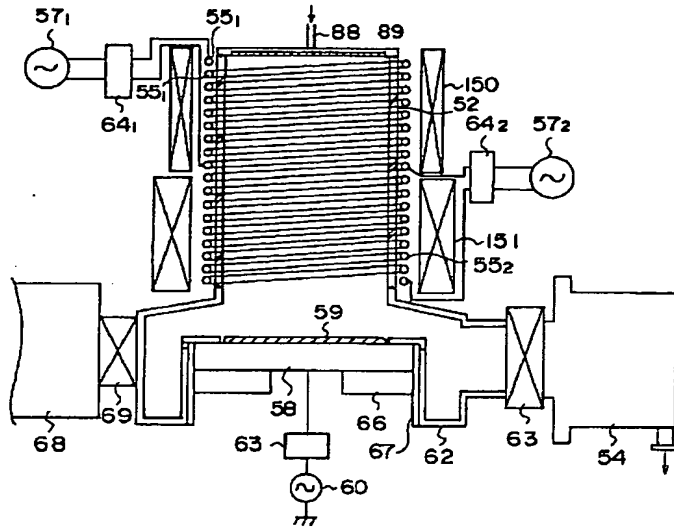
【図 12】



【図 14】



【図13】



【図15】

